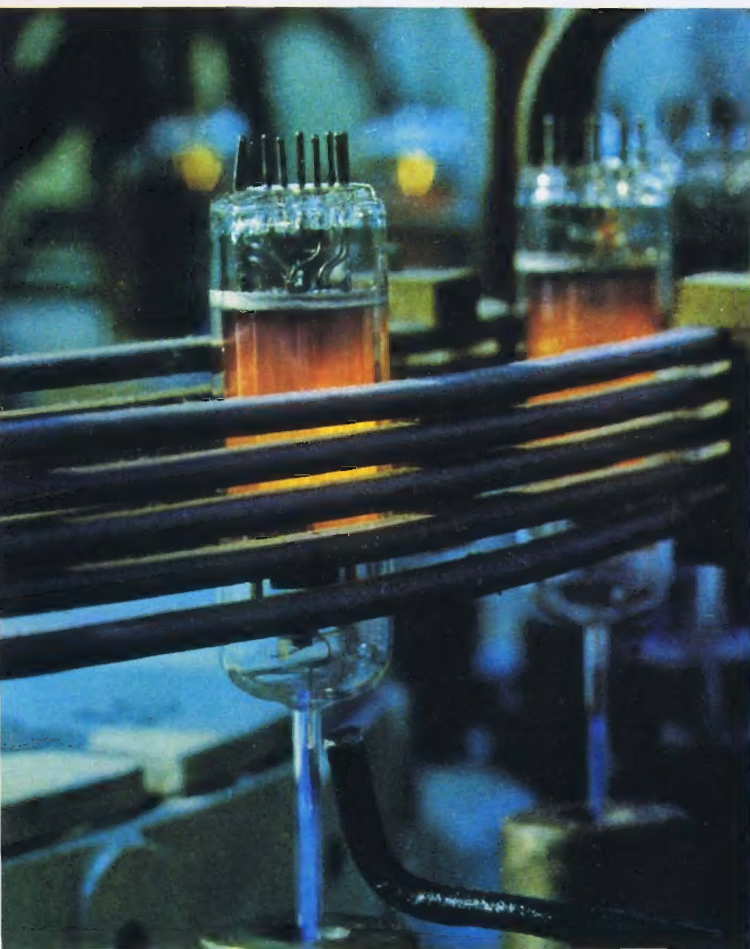
PHILIPS

②

elektronenbuizen



WIJ EN DE ELEKTRONICA

ELEKTRONENBUIZEN



Fig. 1. Een ventiel

Elektronenbuizen komen voor in nagenoeg elke radiozender, radio-ontvanger, versterker, bandrecorder, enz. Wel wordt sinds 1950 een steeds groter deel van het elektronische werk daarin overgenomen door nieuwe produkten waarin halfgeleidende stoffen toepassing vinden (kristaldiode en transistor), doch in veel gevallen is de elektronenbuis nog niet te vervangen. Er is dan ook alle reden voor om deze nader te beschouwen.

Wat is de functie van een elektronenbuis?

Wij kunnen dit het best eerst beschrijven voor iets dat veel lijkt op de elektrische stroom, nl. een water- of nog beter een luchtstroom in een buis. Om zo'n stroom te regelen gebruikt men ventielen en kranen. Een ventiel zorgt ervoor dat de stroom slechts één kant op kan gaan. Nemen we een pompbuis met een zuiger, dan zal een „wisselstroom" ontstaan als men de zuiger op en neer beweegt. Er zijn twee ventielen nodig om deze heen-en-weer gaande beweging om te zetten in een stroom in één richting. Bij een fietspomp zijn dat het „leertje" van de zuiger en het ventiel in de fietsband. Zij vormen te zamen een gelijkrichter.

Om de sterkte van een stroom te regelen gebruikt men een kraan. Met een kleine kracht kan men de kraan draaien, zodat de sterkte van de water- of luchtstroom, die zijn kracht ontleent aan de pomp, in sterke mate beïnvloed wordt.

Deze voorbeelden dienen ter vergelijking met de meest voorkomende elektronenbuizen. Er zijn „éénrichtingsverkeerbuizen", gelijkrichters, welke de elektrische stroom slechts in één richting doorlaten. Andere buizen, zg. versterkbuizen, zijn enigszins te vergelijken met een kraan: er wordt aan deze buizen een zwak elektrisch signaal toegevoerd. Dit veroorzaakt een grote verandering in de sterkte van de stroom die door de buis heen gaat.

De werking van de elektronenbuizen berust op het gedrag van elektronen. Alvorens hun werking te verklaren, moeten wij eerst het verschijnsel elektrische stroom in een draad nader beschouwen.

Alle stoffen bestaan uiteindelijk uit atomen, onvoorstelbaar kleine deeltjes, waarvan er ruim 90 soorten bestaan. Er gaan

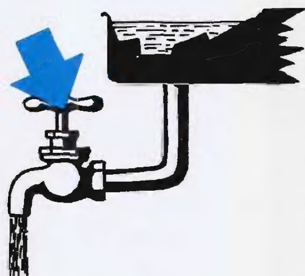


Fig. 2. Een regelkraan

← *Transportband in het fabricageproces van radiobuizen*

er gemiddeld 30 miljoen op 1 cm naast elkaar! Deze atomen zijn zelf weer uit kleine deeltjes opgebouwd. Allereerst een zeer kleine atoomkern, die een positieve lading heeft en waarin praktisch alle stof geconcentreerd is. In de ruimte daaromheen bewegen zich met grote snelheid in gesloten banen de elektronen, kleine en lichte, negatief geladen deeltjes (zie fig. 3). Deze elektronen blijven in hun baan door de elektrische aantrekkingskracht die de tegengesteld geladen kern op hen uitoefent. Bij het atoom in normale toestand is de positieve lading van de kern even groot als de som van de negatieve ladingen van de elektronen, zodat het atoom als geheel geen elektrische lading heeft; het is neutraal.

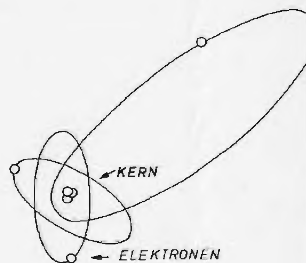


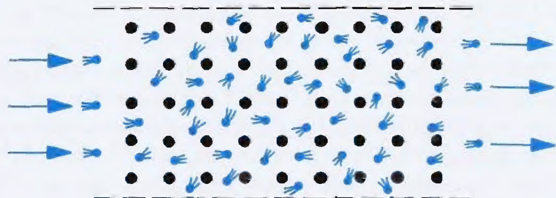
Fig. 3. Een atoom

Bij enkele atoomsoorten zijn er een of meer elektronen die in hun baan telkens vrij ver van de kern af komen. Als dergelijke atomen nu dicht opeen gepakt zijn — en dat is bij de betrekkelijk zware metalen het geval — zullen deze elektronen telkens de binding met het oorspronkelijke atoom verliezen; zij gaan „atoompje wisselen". Zij bewegen zich daardoor in een voortdurende beweging krioelend door het stuk metaal heen. Men zegt dat in het metaal „vrije elektronen" zijn (zie ook deeltje nr. 8).

De aanwezigheid van zo'n verzameling vrije elektronen maakt het mogelijk dat een metaal elektriciteit geleidt (fig. 4). Als men aan de ene kant, bv. links, elektronen in het metaal perst en rechts eruit zuigt, dan ontstaat er in de overigens ongeordende beweging een voorkeur van links naar rechts. Zoiets noemt men elektronenstroom.

Wij wijzen er op dat men ook het begrip „elektrische stroom" gebruikt. Dit is ingevoerd voordat men wist dat er elektronen waren. Men heeft bij de keuze van de stroomrichting destijds aangenomen, dat de elektrische stroom een transport van positieve ladingen voorstelde. Het gevolg is dan, dat de stroomrichting van de fictieve „elektrische stroom" juist tegengesteld is aan die van de „elektronenstroom".

Voor het verkrijgen van een stroom heeft men een „elektro-


Fig. 4. Elektronenstroom in een metaal

nenpomp" nodig, die de elektronen voortstuwt en dus voor een elektrische spanning zorgt. Zo'n pomp is niets anders dan een stroombron of beter een spanningsbron.
Men heeft gelijkspannings- èn wisselspanningsbronnen. Gaat de stroom voortdurend één bepaalde kant op — waarbij de sterkte dan nog mag variëren — dan spreekt men van een gelijkstroom. Gaan de elektronen daarentegen nu eens de ene kant en dan de andere kant op, dan heeft men te maken met een wisselstroom, ook wel een elektrische trilling genoemd.

Thermische emissie van elektronen uit een metaal

Ten aanzien van de vrije elektronen in een metaal moet men zich nu ook weer niet voorstellen, dat deze geheel vrij zijn. Zodra nl. zo'n negatief geladen deeltje het metaal verlaat, zal dit laatste positief geladen achterblijven. Positief en negatief trekken elkaar aan en het elektron wordt dus teruggetrokken. Het zal dus terugkeren. Alleen snel bewegende elektronen kunnen het metaal blijvend verlaten, maar dat zijn er onder normale omstandigheden maar zeer weinige.

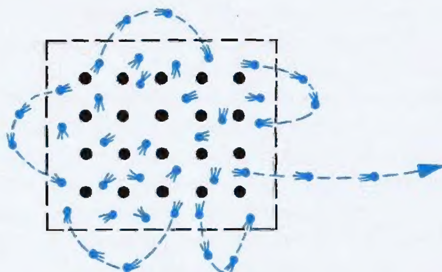


Fig. 5. Vrije elektronen in een metaal zijn niet geheel vrij

Nu is het uit het metaal vrijmaken van elektronen iets dat beslist noodzakelijk is in een elektronenbuis. Om dit te bereiken verwarmt men het metaal door een in het metaal aangebrachte gloeidraad en men bedekt het oppervlak met een dunne laag bariumoxyde, een stof die gemakkelijk elektronen loslaat. Bij hoge temperatuur trillen de metaalatomen heftig om hun vaste plaats in het metaal heen. Aan deze onrust nemen de elektronen deel; ze vliegen veel sneller in het metaal rond en het gevolg is dat nu, mits de temperatuur hoog ge-

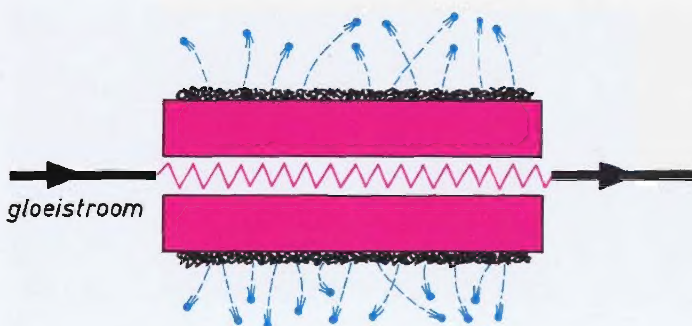


Fig. 6. Elektronenemissie door verwarming

noeg is, voortdurend elektronen ontsnappen. Het doel is bereikt (fig. 6).
Men gebruikt hiervoor een dun metalen buisje, bedekt met bariumoxyde. In het buisje is de gloeidraad geïsoleerd aangebracht en hierdoor stuurt men nu een elektrische stroom, de zg. gloeistroom (daar deze slechts dient om het buisje warm te maken, zullen wij de gloeistroomketen in het vervolg niet meer noemen). Men plaatst het geheel, katode genoemd, in een luchtledige glazen ballon en brengt daarin ook een metalen plaat aan, de anode. Daar aan katode en anode draden bevestigd zijn, die evenals de toevoerdraden voor de gloeistroom door het glas heen gaan, kan men tussen anode en katode van buiten af een elektrisch spanningsverschil aanbrengen, de zg. anodespanning. Hiermede is de bouw van de diode geheel beschreven.
Fig. 7 toont links hoe een moderne diode ingericht is. Daarnaast staat het schema van een diode, zoals dat in tekeningen van schakelingen gebruikt wordt. Verder is getekend hoe een diode er in werkelijkheid van buiten uitziet.

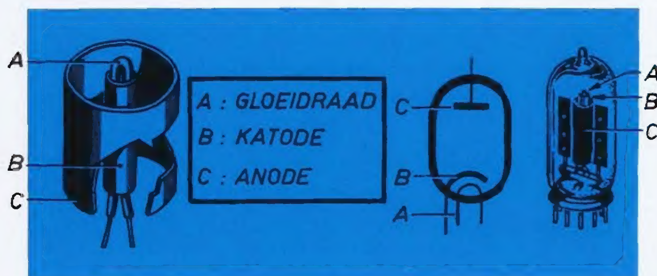


Fig. 7. De diode

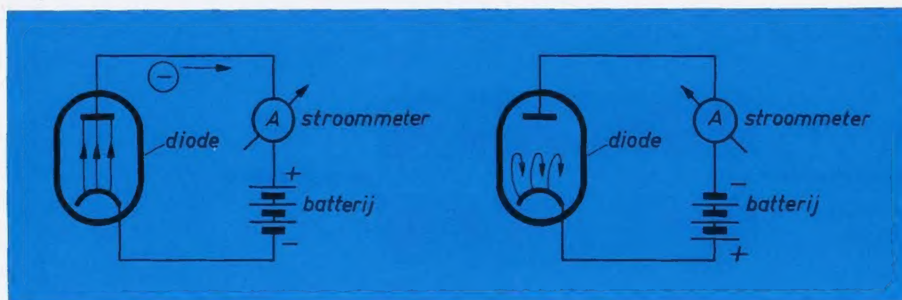


Fig. 8. De diode geschakeld in de „doorlaatrichting"

Fig. 9. De diode geschakeld in de „keerrichting"

Hoe werkt de diode (twee-elektrodenbuis)

We verbinden katode en anode met de polen van een spanningsbron. Allereerst maken we de anode positief en de katode negatief (fig. 8). De warme katode zendt voortdurend elektronen uit, die er een zg. elektronenwolk omheen vormen. De positieve anode trekt de elektronen aan; ze bereiken deze om vervolgens onder invloed van de „elektronenpomp" door de draden heen weer bij de katode te komen, enz. Er ontstaat dus een elektronenstroom in deze figuur in de richting van de wijzers van een uurwerk. De „elektrische stroom", die in de andere richting lopend gedacht wordt, heet de anodestroom I_a. Men zegt, dat de diode nu geleidend is.
Anders wordt het als we de klemmen van de stroombron verwisselen en de anode negatief, de katode positief wordt (fig.

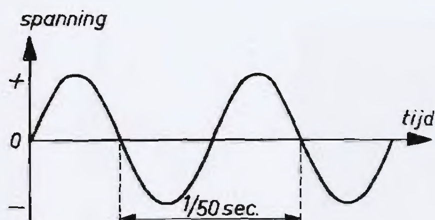


Fig. 10. Een wisselspanning met frequentie 50 Hz

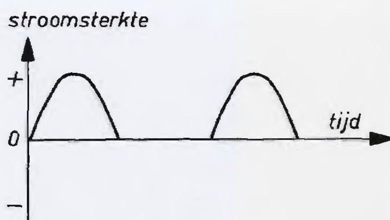


Fig. 11. De daaruit verkregen gelijkstroom

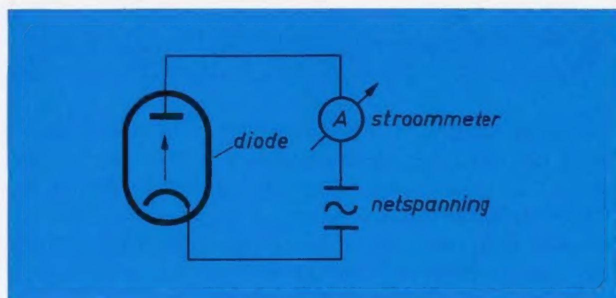


Fig. 12. De diode aangesloten op wisselspanning

9). De elektronen uit de wolk om de katode worden nu afgestoten door de anode en blijven nabij de katode. De koude anode kan geen elektronen uitzenden en dus kan er op geen enkele wijze een elektronenstroom in de buis en ook niet in de rest van de keten gaan lopen. De diode is nu niet-geleidend. De diode zal de elektrische stroom wel in de ene richting, niet in de andere richting doorlaten, m.a.w. het is een ventiel.

Het wordt interessant als we de gelijkspanning van de anode vervangen door een wisselspanning, bv. die van het lichtnet (fig. 10). Vijftig maal per seconde is dan telkens gedurende 1/100 sec. de anode positief — en is de buis geleidend — en gedurende de rest van de tijd negatief — en is de buis niet-geleidend. We krijgen dan snel afwisselend achter elkaar perioden waarin de buis wel en geen stroom doorlaat (fig. 11). Met een diode zal men dus uitgaande van een wisselspanning een gelijkstroom kunnen krijgen (fig. 12).

Dit „gelijk" slaat dan alleen op de steeds gelijkblijvende richting van de stroom; de sterkte daarvan varieert voortdurend en is dus niet „gelijk".

Dioden vinden o.a. toepassing bij de detectie van hoogfrequente radiotrillingen, zoals in deel 1 is beschreven. Een andere toepassing is bv. als gelijkrichter in het zg. voedingsgedeelte van elk elektronisch toestel dat uit het lichtnet gevoed wordt. In dit gedeelte, het zg. voedingsapparaat, wordt uit de wisselspanning van het net de gelijkstroom verkregen, nodig om het toestel te laten werken. Hoe de scheutsgewijze gelijkstroom in een gelijkmatige stroom omgezet wordt, zullen wij hier niet bespreken. De condensator speelt bij deze „afvlakking" als een soort reservoir een belangrijke rol.

De triode (drie-elektrodenbuis)

In de triode is tussen de cilindrische anode en de lijnvormige katode nog een derde elektrode aangebracht, het zg. rooster (zie fig. 13). Het is een schroefvormig gewonden draad. In het schema wordt dit rooster aangegeven door een stippellijn.
De triode is dus een uitbreiding van de diode. Hij wordt, als diode gezien, steeds in de geleidende toestand gebruikt, dwz. dat de anode steeds positief is ten opzichte van de katode. Deze anodespanning moet een „gelijkmatige gelijkspanning" zijn, bv. verkregen uit een batterij of uit het voedingsapparaat dat bij de bespreking van de diode zojuist genoemd is.
Het rooster heeft betrekkelijk grote mazen, zodat de elektronen op hun weg van katode naar anode er weinig hinder van ondervinden. Dit wordt anders als we op de roosterdraden een elektrische lading gaan aanbrengen die de elektronen aantrekt danwel afstoot.
Allereerst geven wij dit rooster een kleine positieve spanning van bv. 4 V ten opzichte van de katode (fig. 14a). De elektronen stroom wordt hierdoor niet gehinderd, integendeel, de anodestroom kan zelfs nog iets vergroot worden. Eerst als het rooster sterker positief gemaakt wordt, zullen de elektronen bij voorkeur naar het rooster gaan in plaats van naar de anode. Er gaat dan een zg. roosterstroom lopen via de roosterspanningsbron naar de katode. De anodestroom vermindert met eenzelfde bedrag. Deze situatie wordt echter in de praktijk steeds vermeden.

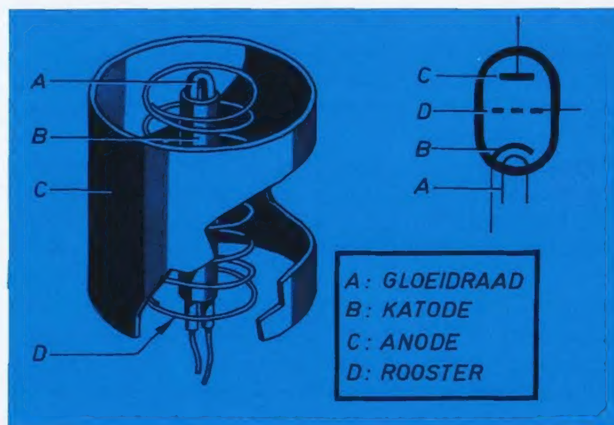
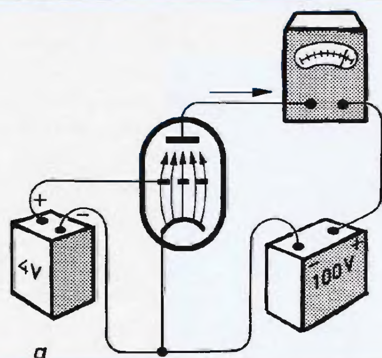
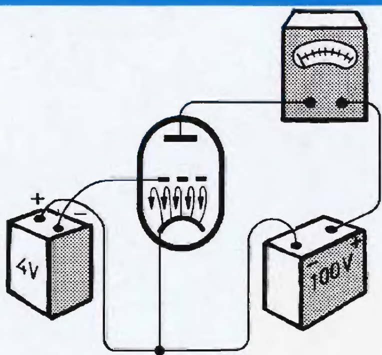


Fig. 13. De triode

Wanneer we nu een kleine negatieve roosterspanning aanleggen (steeds vergeleken met de katode), zullen door de negatieve lading van het rooster de eveneens negatieve elektronen worden afgestoten. Slechts een klein aantal elektronen weet dan nog door de mazen van het rooster te komen en de anode te bereiken. De anodestroom is dus veel zwakker geworden. Hoe sterker de negatieve roosterspanning, hoe kleiner de anodestroom. Bij een bepaalde negatieve roosterspanning bv. —4 V, wordt de anodestroom zelfs nul; de buis is dan „dichtgeknepen" (fig. 14b).
Het blijkt dus dat een kleine verandering in de negatieve roosterspanning een grote verandering kan veroorzaken in de anodestroom. De triode werkt dus als een kraan: een kleine verandering in de stand ervan geeft een grote verandering in de stroomsterkte er doorheen.

Op het rooster zetten we nu behalve een constante negatieve roosterspanning van —2 V een wisselspanning met een piekwaarde van bv. ±1 V (fig. 14c). De roosterspanning varieert dan tussen —1 en —3 V. Is de frequentie van deze elektrische trilling bv. 100 Hz, dan heeft dit tengevolge, dat de anodestroom eveneens met een frequentie 100 Hz verandert. Er wordt in de anodeketen dus een nieuwe elektrische





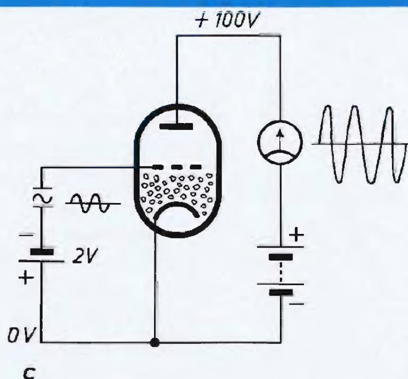


Fig. 14. Versterking van elektrische trillingen

trilling gevormd, die vele malen sterker blijkt te zijn dan de elektrische trilling op het rooster. Een triode is dus een versterkbuis en kan als zodanig op verschillende plaatsen in een elektronisch apparaat worden gebruikt. Ter voorkoming van misverstand zij er op gewezen, dat de energie van de versterkte trilling niet afkomstig is van de buis, doch van de stroombron. Zo is ook bij de waterleiding de energie van de krachtige waterstraal afkomstig van het pompstation. De kraan regelt de energie van de waterstroom; voor de bediening van de kraan is slechts weinig moeite nodig.
Voor vele toepassingen is de triode verdrongen door meer gecompliceerde elektronenbuizen. Rond de katode kan nl. een groter aantal roosters worden aangebracht, zodat zg. meerroosterbuizen ontstaan. Men krijgt dan buizen met andere eigenschappen, die daardoor voor bepaalde doeleinden beter geschikt zijn dan de triode.



Achtereenvolgens zijn zo ontstaan de tetrode, pentode, hexode, heptode, oktode en enneode met resp. twee tot en met zeven roosters. Hiervan werd de pentode de meest gebruikte versterkbuis.
Soms worden twee of meer elektronenbuizen in één glazen ballon samengebracht. Men spreekt dan bv. van een dubbele triode of van een triode-heptode; dit zijn de zg. combinatiebuizen. Ook zijn er nog buizen die met gas gevuld zijn. Het bespreken van de bijzonderheden van de meer-roosterbuizen en van de met gas gevulde buizen valt buiten het bestek van deze uitgave, omdat die niet direct van betekenis zijn voor het principiële begrip van de onderwerpen welke hier zullen worden besproken.

De röntgenbuis

Onder de vele elektronenbuizen is er een met een zeer bijzondere toepassing: de röntgenbuis. In principe is het een eenvoudige diode en de werking daarvan is reeds besproken: een katode die elektronen uitzendt en een positieve anode die ze aantrekt.
In een gewone diode gebruikt men spanningen van hoogstens enkele honderden volt. De elektronen bereiken de anode met betrekkelijk lage snelheid en worden, zonder dat er

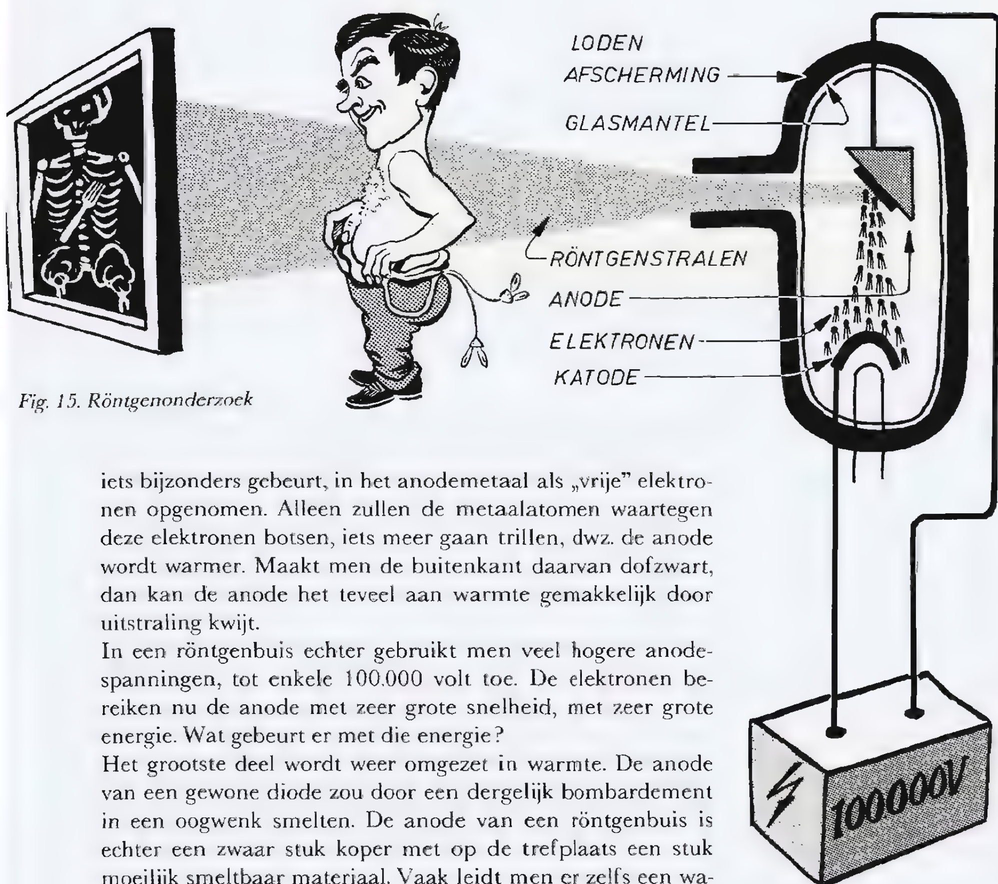


Fig. 15. Röntgenonderzoek

iets bijzonders gebeurt, in het anodemetaal als „vrije" elektronen opgenomen. Alleen zullen de metaalatomen waartegen deze elektronen botsen, iets meer gaan trillen, dwz. de anode wordt warmer. Maakt men de buitenkant daarvan dofzwart, dan kan de anode het teveel aan warmte gemakkelijk door uitstraling kwijt.
In een röntgenbuis echter gebruikt men veel hogere anodespanningen, tot enkele 100.000 volt toe. De elektronen bereiken nu de anode met zeer grote snelheid, met zeer grote energie. Wat gebeurt er met die energie?
Het grootste deel wordt weer omgezet in warmte. De anode van een gewone diode zou door een dergelijk bombardement in een oogwenk smelten. De anode van een röntgenbuis is echter een zwaar stuk koper met op de trefplaats een stuk moeilijk smeltbaar materiaal. Vaak leidt men er zelfs een wa-

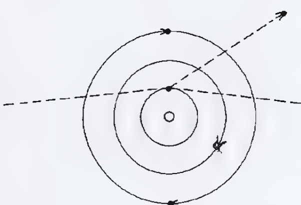


Fig. 16. Het losslaan van een binnenelektron door een snel vrij elektron

terstroom ter koeling door. Maar een röntgenbuis dient er niet voor om warm water te maken!
Behalve metaalatomen een duw geven, kan zo'n snel elektron ook nieuwe zg. secundaire elektronen uit het atoom losslaan. We zagen reeds eerder dat een atoom bestaat uit een kern, een aantal sterk gebonden binnenelektronen en een of meer los gebonden buitenelektronen.
Bij een voltreffer is het gemakkelijk een buitenelektron los te maken. Het gat dat nu ontstaat, wordt later weer opgevuld door een vrij elektron en hierbij komt energie vrij, vaak in de vorm van licht (luminescentie). Heel moeilijk is het om de kern te treffen. Men heeft heel hoge spanningen van miljoenen volt nodig om elektronen te krijgen met voldoende snelheid om langs de elektronen die om de kern wentelen, zo diep in het atoom te komen.
Maar een spanning van bv. 100.000 V, zoals toegepast in de röntgenbuis, geeft elektronen die de mogelijkheid hebben uit een metaalatoom althans een binnenelektron los te slaan (fig. 16). Als de open plaats daarna weer gevuld wordt door een vrij elektron, komt daar veel energie bij vrij en wel in de vorm van energierijke straling. En — hoewel maar een klein gedeelte van de elektronen zo'n resultaat blijkt te hebben — hier gaat het in de röntgenbuis juist om. Deze straling heeft nl. een sterk doordringend vermogen: het is de zg. röntgenstraling. De toepassing daarvan is eenieder wel bekend: deze ligt op medisch terrein en bij het onderzoek van materialen en technische werkstukken.

Foto-emissie van elektronen uit een metaal

In de tot nu toe besproken buizen werd uitzending van elektronen verkregen door verhitting. Ook zagen we juist hoe elektronen door bombardement losgemaakt kunnen worden. Er is echter nog een andere manier om aan de vrije elektronen die in het metaal aanwezig zijn de energie toe te voeren, nodig om uit te treden. Men kan er nl. licht op laten vallen. Indien licht van de juiste kleur gebruikt wordt, zullen hierdoor elektronen vrij gemaakt kunnen worden (fig. 17). Als metaal gebruikt men stoffen die zich goed voor dergelijke foto-emissie lenen. Voor natrium zijn de kleuren (ultraviolet), violet en blauw bruikbaar, voor kalium ook groen. Cesium reageert op alle kleuren. Met combinaties van bepaalde stoffen komt men zelfs tot in het onzichtbare infra-rood.

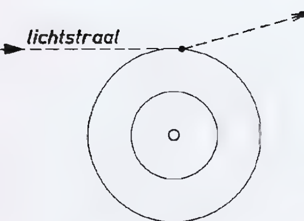


Fig. 17. Het losslaan van een buitenelektron door licht

De foto-elektrische cel

De foto-elektrische cel is een meestal luchtledig buisje met twee elektroden. Het gevoelige materiaal is aangebracht op een metalen drager en vormt de katode. Vlak ervoor is een metalen draad aangebracht, die tot anode dient. Indien de anode elektrisch positief t.o.v. de katode gemaakt is, zullen de door de katode uitgezonden elektronen naar de anode worden getrokken (fig. 18). Er zal dan een elektrische stroom in de keten gaan lopen... tenminste als er licht op de fotocel valt! Veel stroom als er veel licht, weinig als er weinig licht is. De stroom is echter steeds betrekkelijk zwak, zodat versterking nodig is. Hiervoor komt natuurlijk de triode weer in aanmerking.

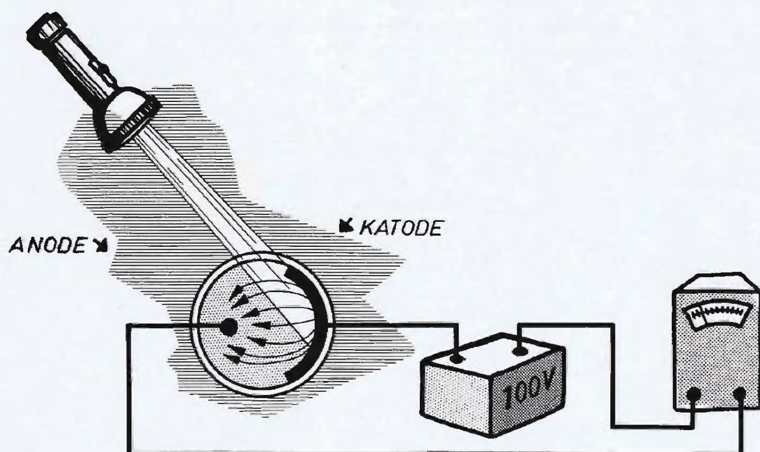


Fig. 18. Schakeling met een foto-elektrische cel

Naast de vacuümcellen kent men met gas gevulde cellen. Deze laatste laten in het algemeen meer stroom door. De fotocel vindt vele toepassingen. We noemen het gebruik bij lichtsterkte-metingen (een belichtingsmeter zoals de fotograaf die gebruikt, werkt op een andere wijze) en in geluidsfilmprojectors. Bij verwarmingsketels met oliebranders waarschuwt de cel als de vlam uitgaat en zet tevens de olietoevoer stop. Door het onderbreken van zelfs onzichtbare lichtstralen die op een



fotocel gericht zijn, kan alarm gegeven worden (inbraakbeveiliging), of kunnen deuren geopend en roltrappen in beweging gezet worden. Wij komen op deze toepassingsmogelijkheden in deeltje nr. 10 nader terug.

Tenslotte willen wij als bijzondere vormen van elektronenbuizen nog noemen de elektronenstraalbuis, de verwante televisiebeeldbuis en ook de televisie-opneembuizen. Deze buizen worden later besproken.

En daarnaast zijn er nog vele andere typen, teveel om hier te bespreken!



Woorden en begrippen

A afvlakking 7
atoom 3
atoomkern 3
anode. 5
anodespanning 5
anodestroom 6
B bariumoxyde 5
buitenelektronen 12
C cesium 12
combinatiebuis 10
D diode 5, 6
E elektronen 3
elektronenbuizen 2, 10
elektronenpomp 4
elektronenstraalbuis 14
elektronenstroom 3
elektronenwolk 6
elektrische stroom 3, 6
enneode 10
F foto-elektrische cel 13
foto-emissie. 12
G gelijkrichter. 7
gelijkstroom 4, 7
geluidsfilm 13
gloeidraad 4
gloeistroom 5
H heptode 10
hexode 10
I inbraakbeveiliging 14
K katode 5
kraan 2
L lichtsterkte-meting 13
luminescentie 12
M meer-roosterbuizen 10
O oktode 10
P pentode 10
R rooster 8
roosterspanning 8
roosterstroom 8
röntgenbuis. 11
röntgenstraling 12

S secundaire elektronen 12
stroombron 4
T televisie-beeldbuis. 14
televisie-opneembuis 14
tetrode 10
thermische emissie 4
triode 8
V ventiel 2, 7
versterkerbuis 2, 10
voedingsapparaat 7
vrije elektronen 4, 11
W wisselstroom 4



PHILIPS' NEDERLAND N.V. – EINDHOVEN
AFD. ONDERWIJSVOORLICHTING